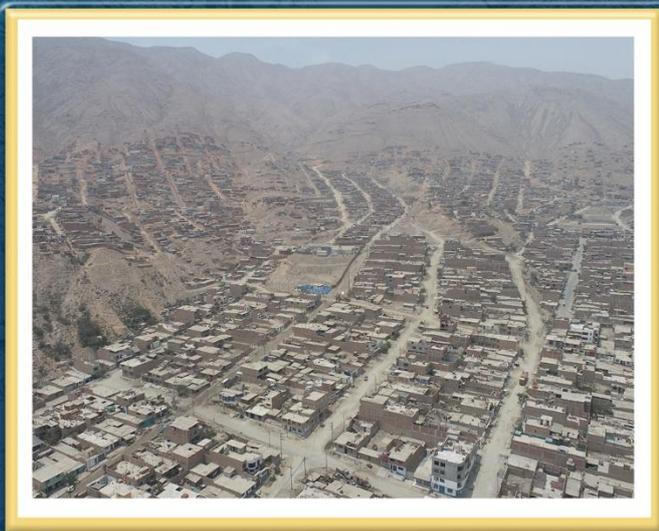


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7240

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJOS DE DETRITOS EN EL TERRENO PROPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HOSPITAL DE ÑAÑA

Departamento Lima
Provincia Lima
Distrito Lurigancho



MARZO
2022

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJOS DE DETRITOS EN EL TERRENO PROPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HOSPITAL DE ÑAÑA

(Distrito Lurigancho, provincia Lima, departamento Lima)

Elaborado por la
Dirección de Geología
Ambiental y Riesgo
Geológico del Ingemmet

Equipo de investigación:

Mauricio Antonio Núñez Peredo

Lucio Medina Allcca

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). "Evaluación de peligros geológicos por flujos de detritos en el terreno propuesto para la construcción del hospital de Ñaña, distrito Lurigancho, provincia Lima, departamento de Lima". Lima: Ingemmet, Informe Técnico N°A7240, 31p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Objetivos del estudio.....	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	3
1.3. Aspectos generales.....	5
1.3.1. Ubicación.....	5
1.3.2. Accesibilidad.....	5
1.3.3. Clima	8
2. DEFINICIONES	9
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	10
2.1. Unidades litoestratigráficas.....	10
2.1.1. Formación Quilmaná (Kis-qui)	10
2.1.2. Depósitos cuaternarios	11
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	12
4.1. Parámetros morfométricos.....	12
4.2. Pendientes del terreno.....	14
4.3. Unidades geomorfológicas	15
4.3.1. Subunidad de montaña en roca volcánica (RM-rv):	15
4.3.2. Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd):	16
4.3.3. Subunidad de vertiente aluvio-torrencial (P-at)	16
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	17
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	17
5.2. Flujo de detritos	17
5.3. Simulación numérica.....	20
5.4. Factores condicionantes.....	23
5.5. Factores detonantes o desencadenantes	23
6. CONCLUSIONES.....	24
7. RECOMENDACIONES.....	25
8. BIBLIOGRAFÍA.....	26

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por flujos de detritos en el terreno propuesto para la construcción del hospital de Ñaña y alrededores, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Lurigancho, provincia y departamento de Lima. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno.

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada, son principalmente de origen volcánico, correspondiente a la Formación Quilmaná, constituidos por derrames de lavas andesíticas fuertemente fracturadas y altamente meteorizadas. Así mismo, el área propuesta se encuentra asentado sobre antiguos depósitos proluviales de eventos de flujos antiguos, cuyo material medianamente consolidado, está conformado por bloques de formas subangulosas a subredondeadas por su escaso transporte, con diámetros de hasta 1.0 m.

Las geoformas identificadas corresponden a la unidad de montañas (montañas modeladas en rocas volcánicas) y geoformas de piedemonte (vertiente coluvial de detritos y aluvio torrencial).

El terreno propuesto para la construcción del hospital de Ñaña se localiza en una quebrada geodinámicamente activa, circundada por laderas de pendiente que varían entre 25° y 45°, lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en sus laderas. La disposición de este material detrítico es susceptible a ser erosionado y generar flujos de detritos.

De producirse lluvias excepcionales, como se prevé por el cambio climático, se generarían flujos de lodo o detritos (huaico) que afectaría aproximadamente 0.08 Km² de la zona urbana donde se ubica el área evaluada, comprometiendo el 69% de su totalidad; así como vías de acceso como las calles Girasoles, Begonias, Azucenas, Geranios, Jazmines; avenidas Las Tunas, El Carmen, Principal, entre otros.

En base a una simulación numérica para un tiempo de retorno de 50 años, se determinó la probabilidad de activación de la quebrada con un caudal máximo de 11.1 m³/s, el cual generaría un flujo de detritos con tirantes máximos de 2.8 m y velocidades máximas de 6.1 m/s en el cauce de la quebrada; así como tirantes máximos entre 0.7 m a 0.4 m con velocidades que fluctúan entre 2.6 a 1.2 m/s en zonas urbanas.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y dinámicas, la quebrada efluente y el área del terreno propuesto para la construcción del hospital de Ñaña, se encuentran en una **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** a la ocurrencia de flujos de detritos y caídas de rocas, los cuales pueden ser desencadenados en temporadas de precipitaciones excepcionales con lluvias intensas y/o prolongadas (Fenómeno El Niño, La Niña, Niño Costero u otro) con incidencia en las cabeceras de las quebradas del sector mencionado.

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones a fin de que las autoridades competentes pongan en práctica, como implementar medidas estructurales para el control de flujo de detritos, proponer la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) y complementar con estudios de evaluación de riesgos (EVAR).

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa, entre otros peligros geológicos) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo las solicitudes del Ministerio de Salud, según Oficios N° 1679-2021-DG-N°0478-DA-OPI-DIRIS-LE/MINSA y N°577-2022-DG-N°0135-DA-OPI-DIRIS-LE/MINSA es en el marco de nuestras competencias que se realizó una evaluación de peligros geológicos en la zona propuesta de terreno para la construcción del hospital de Ñaña del distrito Lurigancho.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Lucio Medina Allcca y Mauricio Núñez Peredo, para realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva, en el sector previamente mencionado, la cual se realizó el día 18 de noviembre del 2021 en coordinación con representantes de la Dirección de Redes Integradas de Salud Lima Este del MINSA y autoridades locales.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS, fotografías terrestres, levantamiento fotogramétrico con dron con el fin de observar mejor el alcance del evento), cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración del Ministerio de Salud, Municipalidad Distrital de Lurigancho, Gobierno Regional de Lima y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar el peligro geológico por flujo de detritos en el terreno propuesto para la construcción del hospital de Ñaña del distrito de Lurigancho.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que podría influir en la ocurrencia de flujo de detritos
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional, que involucran el área de evaluación tenemos:

- A) Boletín N° 76, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la región Lima” (Luque et al., 2020). Este contiene el inventario de peligros geológicos en el departamento de Lima, en el cual se registra un total de 4329 ocurrencias; siendo las caídas de rocas y derrumbes (37.4%), además de los flujos de detritos (26.2%), los eventos de mayor recurrencia y los observados en la zona de estudio.

Así mismo, en el presente boletín se muestra el mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:500 000, donde el área propuesta de terreno para la construcción del hospital de Ñaña se localiza en una zona de susceptibilidad Alta (figura 1). Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa, como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

- B) Memoria descriptiva de la Geología del cuadrángulo de Chosica (Mamani *et al.*, 2021). Estudio realizado dentro de la actualización de la Carta Geológica Nacional a escala 1:50 000, el cual contempla la descripción detallada de las unidades litoestratigráficas, que corresponde a una secuencia volcanosedimentaria a la base y con predominio de rocas volcánicas en la parte superior, característico de la Formación Quilmaná.
- C) Boletín N° 43, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Lurín, Chancay y Chosica escala 1:100 000” (Palacios *et al.*, 1992). Describe la geología de la zona de estudio y alrededores que corresponde a rocas volcánicas de la Formación Quilmaná del Grupo Casma de edad Albiano - Cenoniano.

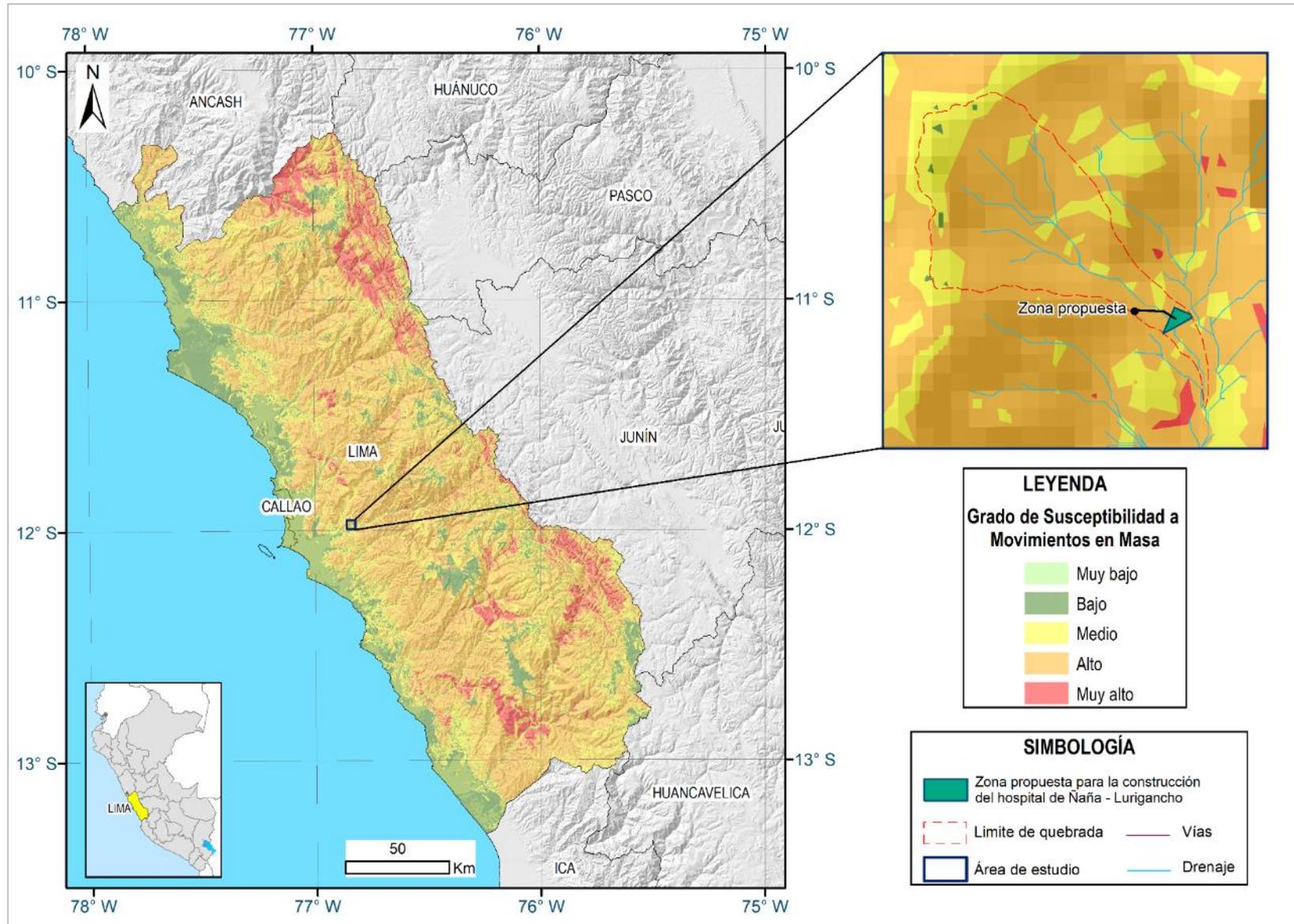


Figura 1: Susceptibilidad por movimientos en masa del área de estudio. **Fuente:** Luque et al., 2020.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada se encuentra ubicada en el distrito de Lurigancho, provincia Lima, departamento de Lima (figuras 2 y 3), dentro de las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S):

Cuadro 1. Coordenadas del área de evaluación.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
A	299574.336	8675731.577	-11.9732°	-76.8406°
B	299658.619	8675695.329	-11.9736°	-76.8399°
C	299664.178	8675678.540	-11.9737°	-76.8398°
D	299514.504	8675597.031	-11.9745°	-76.8412°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
	299590.731	8675674.962	-11.9738°	-76.8405°

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, la población censada del distrito de Lurigancho es de 240 814 habitantes, distribuidos en un total de 88 077 viviendas particulares.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio desde la oficina central de Ingemmet, se realizó mediante la siguiente ruta:

Cuadro 2. Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Av. Canadá cuadra 14 – Av. Del Aire – Av. Aviación – Av. Javier Prado Este – Vía Evitamiento – Carr. Panamericana Sur – Au Ramiro Pialé – Nuevo Horizonte – Bernard Balaguer –Virgen del Carmen – Av. La Tercera	Asfaltada – Trocha carrozable	31.8	55 min

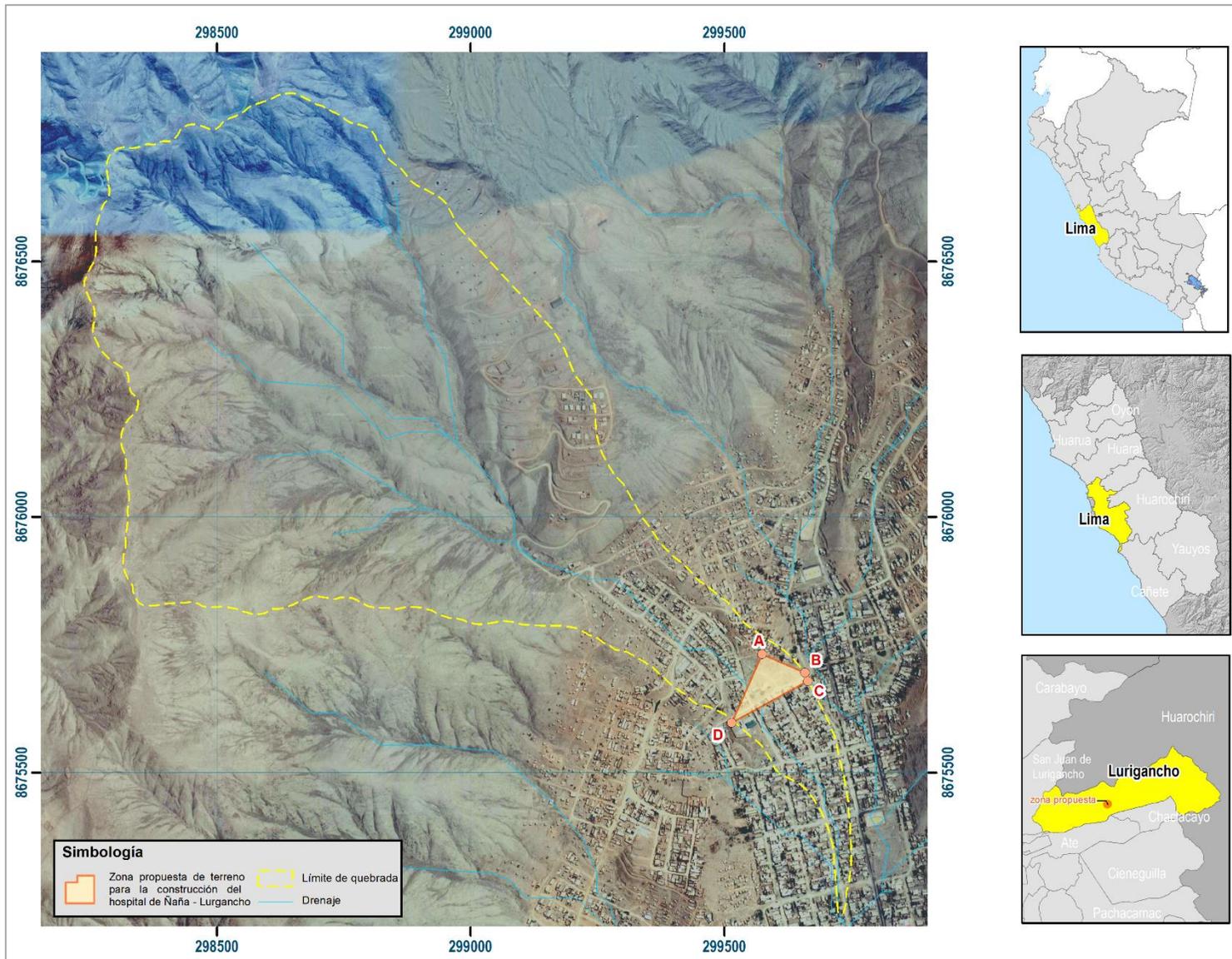


Figura 2: Delimitación de la quebrada afluente y el área propuesto de terreno para la construcción del hospital de Ñaña.

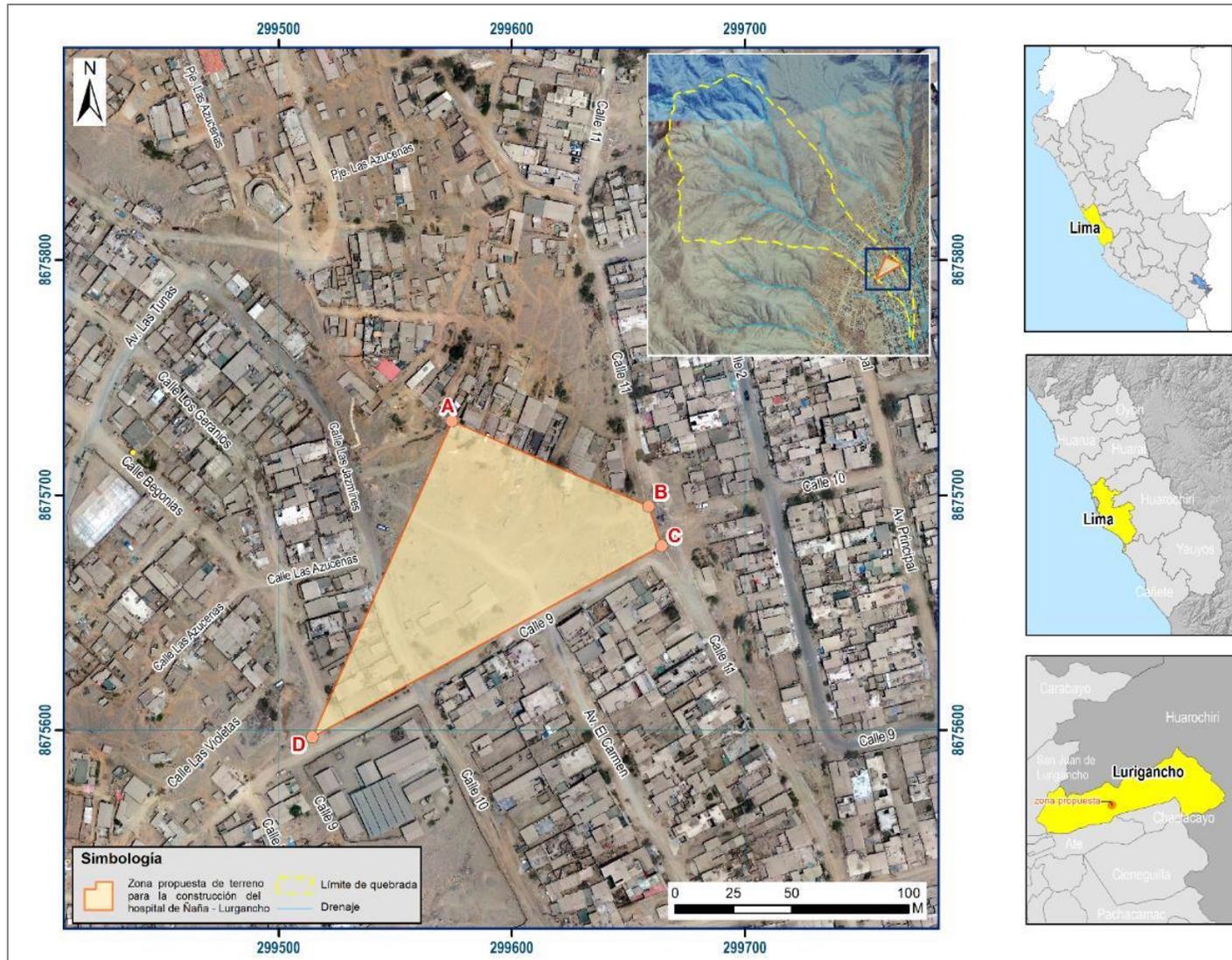


Figura 3: Ubicación del terreno propuesto para la construcción del hospital de Ñaña de Lurigancho.

1.3.3. Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el distrito de Lurigancho presenta un clima semicálido, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año, y con humedad relativa calificada como húmeda.

En cuanto a la cantidad de lluvia según datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza los datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos raster y de satélite), la precipitación máxima registrada en el periodo 2020-2022, fue de 8.0 mm (figura 4). Cabe recalcar que las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, produciéndose generalmente de diciembre a abril.

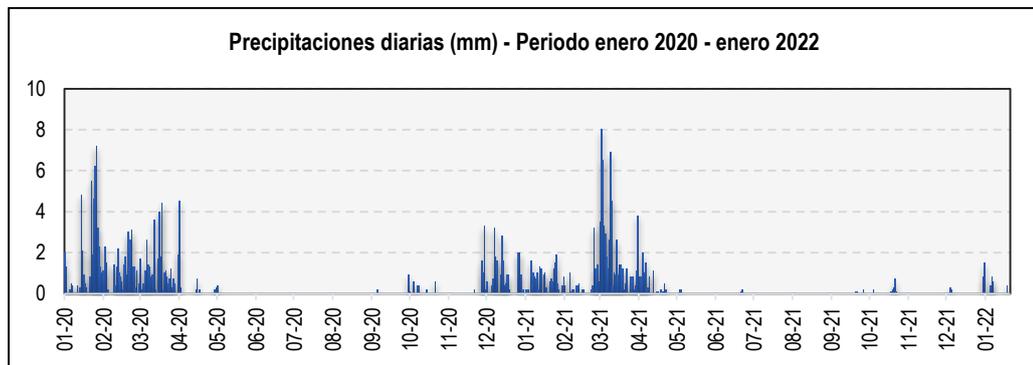


Figura 4. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2020-2022. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. **Fuente:** Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/main-map/fields/all>

La temperatura anual oscila entre un máximo de 28.0°C en verano y un mínimo de 10°C en invierno (figura 5), y una humedad promedio de 78% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

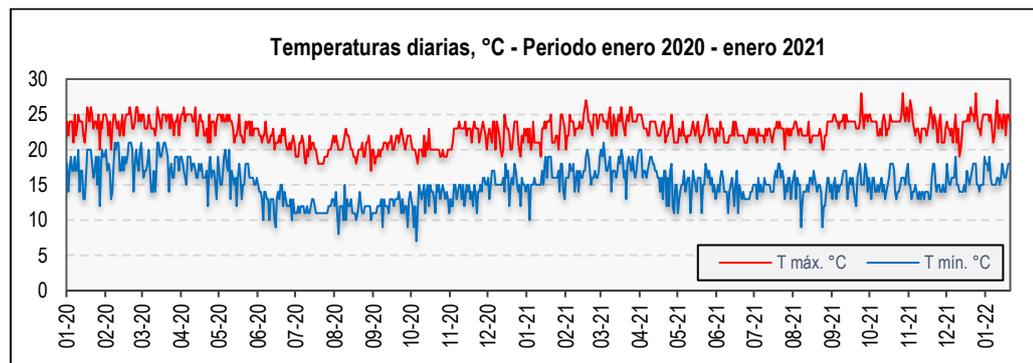


Figura 5. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2020-2022. La figura permite analizar a partir de datos históricos, la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. **Fuente:** Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/main-map/fields/all>

2. DEFINICIONES

Considerando que el presente informe de evaluación técnica está dirigido a las autoridades, personal no especializado y tomadores de decisiones que no son necesariamente geólogos; es por ese motivo que se desarrolla algunas definiciones relevantes en términos sencillos como son:

FRACTURA: Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

FLUJO: Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea deslizamiento o una caída. Estos pueden ser canalizados (flujos de detritos o huaicos) y no canalizados (avalanchas).

METEORIZACIÓN: Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

MOVIMIENTO EN MASA: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. Los tipos más frecuentes son: caídas, deslizamientos, flujos, vuelcos, expansiones laterales, reptación de suelos, entre otros. Existen movimientos extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) como avalanchas y/o deslizamientos, hasta extremadamente lentos (menos de 16 mm por año) a imperceptibles como la reptación de suelos.

PELIGROS GEOLÓGICOS: Son procesos o fenómenos geológicos que podrían ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud. Daños a la propiedad, pérdida de medios de sustento y servicios, trastornos sociales y económicos o daños materiales. Pueden originarse al interior (endógenos) o en la superficie de la tierra (exógenos). Al grupo de endógenos pertenecen los terremotos, tsunamis, actividad y emisiones volcánicas; en los exógenos se agrupan los movimientos en masa (deslizamientos, aludes, desprendimientos de rocas, derrumbes, avalanchas, aluviones, huaicos, flujos de lodo, hundimientos, entre otros), erosión e inundaciones.

SUSCEPTIBILIDAD: Está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología local, se desarrolló teniendo como base el mapa geológico del cuadrángulo de Chosica, 24j3, a escala 1:50,000 (Mamani *et al.* 2021), así como la referencia del Boletín N° 43: “Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica, escala 1:100 000” (Palacios *et al.* 1992) y el Boletín N° 38: “Geología del cuadrángulo de Chosica (hojas 24j1, 24j2, 24j3, 24j4) escala 1:50 000” (Mamani *et al.*, 2021), publicados por Ingemmet.

De igual manera, esta información se complementó con trabajos de interpretación de imágenes de satélite, vuelos de dron y observaciones de campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran son principalmente de origen volcánico de la Formación Quilmaná; así como depósitos cuaternarios proluvial y coluvial, (anexo 1 – mapa 01).

2.1.1. Formación Quilmaná (Kis-qui)

Según Mamani *et al.*, (2021), esta unidad está conformada por afloramientos dominados por derrames de lavas andesíticas con algunos niveles sedimentarios de calizas, lutitas y areniscas.

Estas rocas se encuentran muy fracturadas, con espaciamentos muy próximos entre sí (0.05 a 0.30 m) y aberturas algo abiertas (0.1-1.0 mm). Además, se encuentran altamente meteorizadas, es decir más del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo (fotografía 1).



Fotografía 1. Sustrato rocoso conformado por afloramientos de lavas andesíticas de la Formación Quilmaná. Estas rocas se presentan muy fracturadas y altamente meteorizadas.

2.1.2. Depósitos cuaternarios

a. Depósito coluvial (Q-cl):

Se localizan al pie de laderas de montaña y márgenes de quebrada, dispuestos de forma caótica por acción de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía. Están compuestos por fragmentos de roca angulosos de tamaños variables y de naturaleza litológica homogénea.

b. Depósito proluvial (Q-pl):

Los depósitos proluviales se originan a partir de los depósitos de flujos, por la existencia de material detrítico suelto acumulado y cuando ocurren precipitaciones pluviales intensas se saturan, pierden su estabilidad y se movilizan torrente abajo por las quebradas.

Estos depósitos están constituidos por capas de gravas gruesas y finas mal clasificadas, con elementos subangulosos a subredondeados, envueltos en una matriz de arenas, limos y combinaciones areno-arcillosas en proporciones variables, medianamente consolidados.



Fotografía 2. Material de depósito proluvial compuesto por fragmentos de roca subangulosos a subredondeados, de tamaños variables, envueltos en una matriz de arenas, limos y combinaciones areno-arcillosas, medianamente consolidados.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Parámetros morfométricos

Los parámetros morfométricos nos permiten conocer las características físicas generales de la quebrada, y a la vez proporcionan la mejor posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico (Chow, *et. al*, (1994), (figura 6).

La cabecera de la quebrada se encuentra a una altitud de 1240 m s.n.m. y su desembocadura alrededor de los 649 m s.n.m.; comprende un área superficial de 0.92 km², un perímetro de 5.13 km, abierta con dos ramales principales en su cabecera (SE-NO y N-S) y un cauce principal antropizado con una dirección predominante NO-SE.

Los parámetros de forma permiten establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una quebrada. Así, por ejemplo, el Factor de Forma (0.172) nos indica que la quebrada tiene forma alargada favoreciendo a los flujos rápidos; así mismo de acuerdo al coeficiente de compacidad (1.497), la quebrada tiene forma oval oblonga con tendencia a las crecidas.

Los parámetros de relieve representan la influencia del relieve sobre la respuesta hidrológica de la cuenca, puesto que a mayores pendientes corresponden mayores velocidades del agua en las corrientes y menor será el tiempo de concentración de la cuenca. La curva hipsométrica de la quebrada nos indica que esta posee un alto potencial erosivo y que se encuentra en equilibrio, la altitud media de la microcuenca aportante es de 985.913 m s.n.m. La pendiente media es 47.98% y del cauce principal es 3.07% lo que nos indica que los flujos tendrán alta velocidad en laderas y alta capacidad erosiva.

En cuanto a la densidad de drenaje (4.37) nos indica que la quebrada cuenta con un buen drenaje, predominando el flujo en ladera por sobre el flujo en cauce con volúmenes medianos de escurrimiento.

Adicionalmente se calculó el tiempo de concentración, definido como el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la quebrada; en este sentido, transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la quebrada contribuye a la salida.

A continuación, se muestran los resultados de distintos tiempos de concentración (cuadro 3), calculados con las fórmulas de Kirpich, Temez y California Culverts, de los cuales se escogió el tiempo de concentración promedio.

Cuadro 3. Tiempo de concentración calculados para la quebrada.

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (min)			
Kirpich	Temez	California Culverts	Tiempo de concentración promedio
10.05655	16.31236	12.83496	13.06796

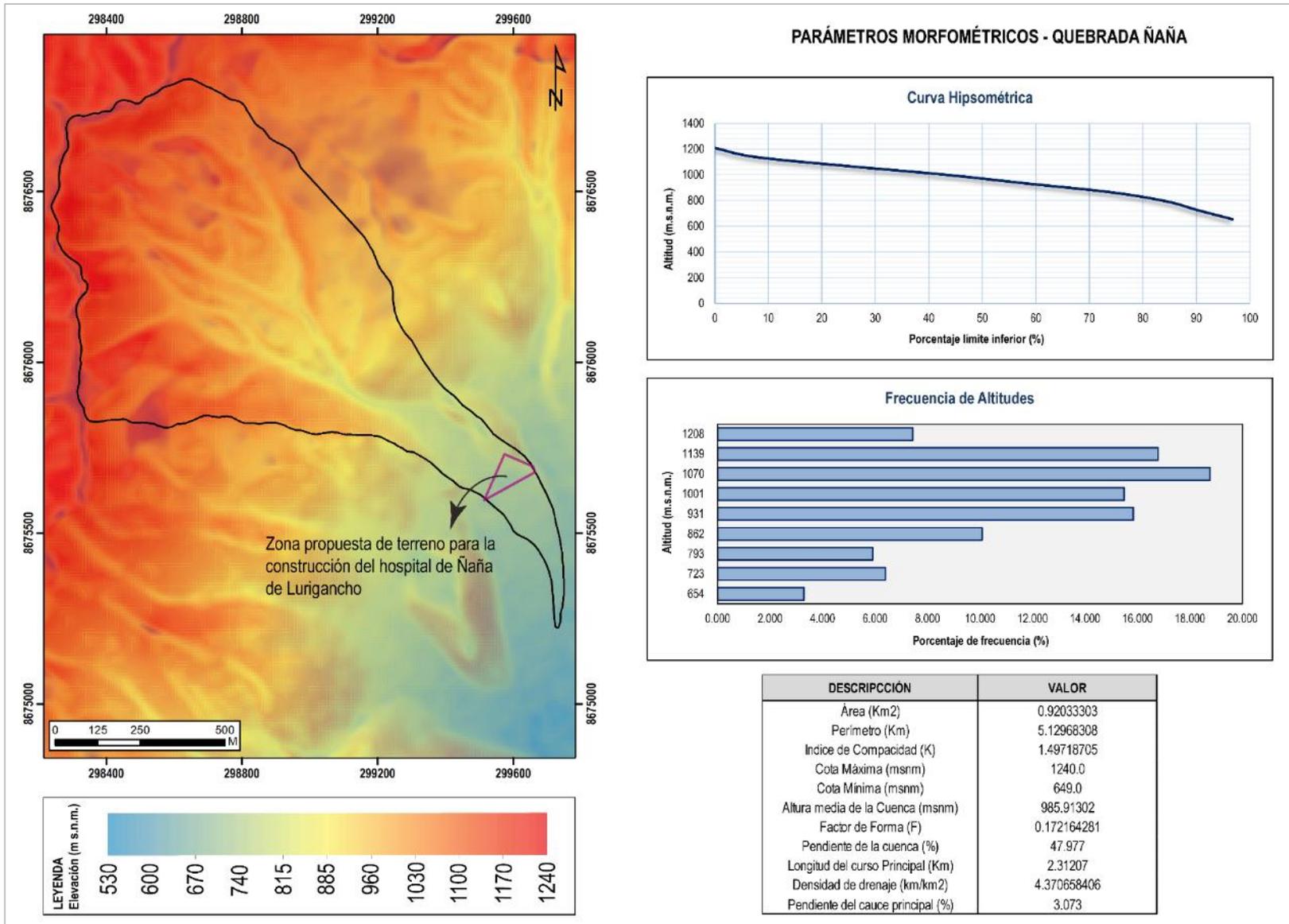


Figura 6. Parámetros morfométricos de la quebrada Ñaña.

4.2. Pendientes del terreno

La pendiente, es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002), es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, como factor condicionante.

La zona media a alta de la quebrada está circundada por laderas de pendiente que varían entre 25° y 45°, lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en sus laderas. La zona media a baja y sobre la cual se asienta la población se conforma de pendientes que varían de 5° a 15°.

En el anexo 1 – mapa 02, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS), donde se evidencia un mayor predominio de laderas, cuyos rangos de pendientes van desde fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°). Este rango de pendientes es el resultado de una intensa erosión y desgaste de la superficie terrestre, cuyas características principales se describen en el cuadro 3:

Cuadro 3. Rango de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTES		
Pendiente	Rango	Descripción
0°-1°	Llano (0.06%)	Se presentan en pequeños tramos como terrenos llanos cubiertos por depósitos cuaternarios, asociado a unidades como vertientes aluvio-torrenciales.
1°a 5°	Inclinación suave (1.29%)	Terrenos planos con ligera inclinación que se distribuyen a lo largo de fondos de quebradas y vertientes aluvio-torrenciales. En este rango se ubica principalmente la población del distrito de Lurigancho.
5°a 15°	Moderado (13.27%)	Terrenos con moderada pendiente, se observa en el cauce de la quebrada desde los 803 m s.n.m. hasta los 610 m s.n.m., de igual manera estas pendientes predominan en las cimas de montañas.
15°a 25°	Fuerte (29.1%)	Pendientes que se distribuyen indistintamente en las laderas de quebradas y montañas, entre los 900 m s.n.m. y los 1175 m s.n.m.
25°a 45°	Muy Fuerte (59.21%)	Se encuentran en laderas de quebradas y montañas, así como vertientes coluvio-deluvial. En este rango de pendiente, generalmente se registran procesos de erosión en cárcava, caídas y derrumbes.
>45°	Muy escarpado (0.001%)	Ocupa áreas muy reducidas, distribuidas a lo largo de laderas y cumbres de montañas.

4.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (anexo 1 – mapa 03), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación, (Vílchez et al., 2019).

En la zona evaluada y alrededores se han identificado las siguientes geoformas:

A) Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local; diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual (Villota, 2005).

4.3.1. Subunidad de montaña en roca volcánica (RM-rv):

Corresponde a las cadenas montañosas donde los procesos denudativos (fluvio-erosionales) afectaron rocas volcánicas de la Formación Quilmaná. Las montañas cubren gran parte de la zona de estudio, cuyas laderas de pendientes fuerte a muy fuerte, varían de 15° a 45°. En la parte alta son disectados por una red de drenaje dendrítica, resaltando principalmente la quebrada afluyente a la zona de estudio (fotografía 3).

Desde el punto de vista geodinámico, se producen caídas de rocas, derrumbes y flujos.



Fotografía 3. Vista de la subunidad de montañas modeladas en rocas volcánicas (RM-rv), cuyas laderas presentan pendientes de fuerte a muy fuerte (15°-45°) y disectada por diferentes quebradas.

B) Unidad de Piedemonte

Corresponde a la acumulación de material muy heterogéneo, constituido por bloques, cantos, arena, limos y arcilla inconsolidados ubicado al pie de las cadenas montañosas; estos depósitos pueden ocupar grandes extensiones. Se identificó las siguientes subunidades:

4.3.2. Subunidad de vertiente coluvial de detritos (V-d):

Son depósitos inconsolidados acumulados al pie de las laderas de montañas, en forma de talus de detritos irregulares de origen coluvial, de edad reciente, que descienden ladera abajo. Presentan una naturaleza litológica homogénea de granulometría variable con fragmentos angulosos y grado de compacidad bajo, no consolidado (figura 7).

Se asocian geodinámicamente a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo caída de rocas y conforman materiales potencialmente inestables de las laderas que caen o ruedan por la fuerza de gravedad, con ayuda de las lluvias intensas o movimientos sísmicos.



Figura 7. Vista de la subunidad de vertiente coluvial de detritos (V-d), formado por la acumulación de depósitos inconsolidados ubicados al pie de laderas de fuerte pendiente, los cuales aportan gran cantidad de material detrítico al cauce de la quebrada.

4.3.3. Subunidad de vertiente aluvio-torrencial (P-at)

Son planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extendidas, posicionadas al pie de las montañas en rocas volcánicas, formado por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua y lluvias estacionales de carácter excepcional características de la quebrada afluyente. Muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas y se asocian, principalmente, al fenómeno El Niño.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en la zona inspeccionada y alrededores corresponden a los subtipos agrupados en la clase de movimientos en masa (anexo 1 – mapa 4).

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

La caracterización de los eventos geodinámicos, se realizó en base a la información obtenida durante los trabajos de campo, donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico, basado en la observación y descripción morfométrica in situ; de igual modo se tomó datos GPS, fotografías a nivel de terreno y levantamiento fotogramétrico con dron, a partir del cual se obtuvo un modelo digital de terreno y un ortomosaico con una resolución de 0.10 y 0.05 m/píxel respectivamente, complementada con el análisis de imágenes satelitales.

La zona propuesta de terreno para la construcción del hospital de Ñaña se encuentra en una quebrada geodinámicamente activa, representada por caídas de rocas y material suelto proveniente de las laderas. La disposición de este material detrítico es susceptible a ser erosionado y generar nuevos flujos de detritos, por ello se considera que sus cauces están sujetos a huaicos excepcionales (fenómeno El Niño).

Además, la zona es considerada de alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (Luque et al., 2020).

5.2. Flujo de detritos

De acuerdo a las observaciones y trabajos de campo, se evidencia que el basamento rocoso lo constituyen rocas volcánicas muy fracturadas con un notorio grado de meteorización (altamente meteorizadas), estos factores han contribuido a la acumulación de materiales coluviales y proluviales constituyendo suelos incoherentes y sin protección vegetal (figura 8).

Es así, que aguas abajo, se observa abundante material detrítico suelto producto de la meteorización y de flujos antiguos, los cuales alcanzan dimensiones de hasta 1.0 m de diámetro, con formas subangulosas a subredondeadas por su escaso transporte de material. Adicionalmente se aprecia la modificación del terreno para la construcción de nuevas viviendas en el mismo cauce de la quebrada (figura 9).

Aguas arriba en las vertientes de la parte alta se tiene varios ramales dispuestos de manera detrítica que alimentan con material suelto al cauce principal de la quebrada. Sus flancos son empinados y con amplio desarrollo de torrentes y cárcavas que se han formado por la incisión de depósitos de taludes inconsolidados y en roca.

De esta manera, de producirse lluvias excepcionales, se generaría un flujo de lodo o detritos (huaico), los cuales arrastrarían gran volumen de sólidos de material granular, lodo y bloques de roca de diferentes tamaños, constituyendo una amenaza frecuente para las viviendas ubicadas en el cauce, la seguridad de sus habitantes, vías de acceso incluido la zona propuesta de terreno para la construcción del hospital de Ñaña.



Figura 8. Vista panorámica donde se distingue (con flechas amarillas) la acumulación de material coluvial y proluvial, tanto en los márgenes como en el cauce de la quebrada. Los bloques sueltos dispuestos en el cauce principal pueden ser transportados con facilidad durante lluvias excepcionales.



Figura 9. Se aprecia abundante material detrítico suelto en el cauce de la quebrada; así como cortes de talud para la construcción de nuevas viviendas en el mismo cauce.



Figura 10. El terreno propuesto para la construcción del Hospital de Ñaña se encuentra sobre el mismo depósito proluvial medianamente consolidado descrito anteriormente.

Por último, la figura 11 se muestra una comparación de 1 fotografía aérea georreferenciada del año 1962 y una imagen satelital del año 2019; en la cual se evidencia que en el pasado existió huaicos de grandes dimensiones y en la actualidad se ubican una serie de asentamientos humanos sobre estos depósitos (proluvial) que además reducen el cauce principal de las quebradas.

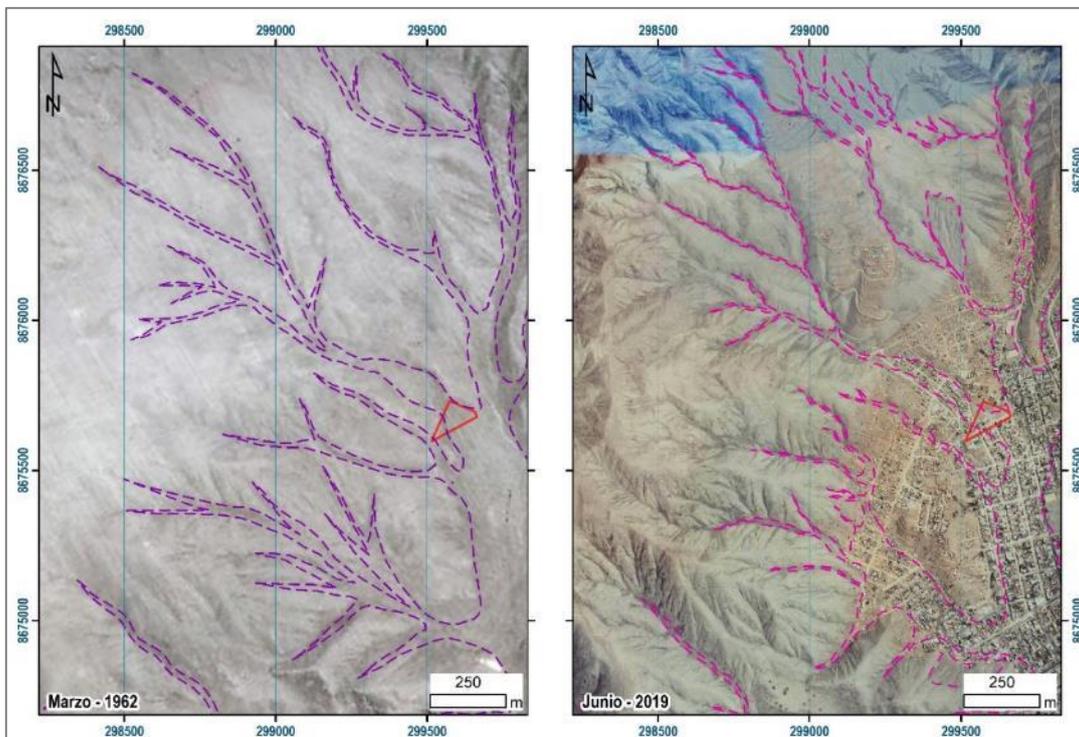


Figura 11. Comparación de fotografía aérea de 1962 (izquierda) e imagen satelital de 2019 (derecha). Se evidencia que el área de estudio es susceptible a grandes procesos de flujos antiguos y en la actualidad el cauce de las quebradas se ve reducido por la expansión urbana descontrolada.

5.3. Simulación numérica

El material detrítico en adición con el caudal líquido genera un tipo de flujo denominado “No Newtoniano” (mezcla de sólido y líquido) que dependiendo de la concentración de sus componentes se mueve a cierta velocidad y con determinados tirantes (alturas), aguas abajo hasta que pierde su capacidad de transporte, todo esto ocasiona el arrastre y el depósito de material detrítico en el área de estudio.

Con el fin de conocer las características del comportamiento de un flujo de detritos (huaico) en la quebrada afluyente, se realizó una simulación numérica en el software HEC-RAS V6.1, para un tiempo de retorno de 50 años (Tr:50). Los aportes de agua y sedimento son considerados de los afluentes tributarios a esta.

a. Condiciones de entrada

Las siguientes condiciones de entrada son empleados para la simulación:

- Se utilizó registros de precipitación pluviométrica (máxima de 24h) del servicio aWhere, para un periodo de 14 años (2008-2021).
- La información topografía utilizada se generó a partir de un modelo de elevación digital de 0.10 m/pix de resolución; el cual fue obtenido gracias a los trabajos de fotogrametría realizados en la etapa de campo.
- Sobre esta información, se delimitó el área de estudio a simular, el cual comprendió el afluyente principal y toda la extensión de la zona urbana probablemente afectada; obteniendo un área total de 0.37 km².
- Se asignó un valor de número de curva de 0.40% (sin cobertura vegetal) a toda la quebrada.
- Para la creación del histograma de avenidas máximas se utilizó el software HEC-HMS, con la metodología del Soil Conservation Service (SCS), con un caudal pico estimado de 11.1 m³/s (figura 11).
- Se generó una malla computacional con celdas de 2 m x 2 m cada una.
- El hidrograma de caudal líquido se colocó como condición de entrada ubicada aguas arriba de la quebrada.
- Se asignó celdas de salida ubicadas al final del dominio computacional, con el fin que el flujo simulado no se estanque donde la información topográfica borde el límite de la zona de simulación, así el programa interpretará que no existe un impedimento para que el flujo se acumule y continúe fluyendo.
- Se asignó un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.025 para el cauce principal, 0.05 para zonas urbanas y 0.15 para zonas aledañas.
- Se consideró una concentración de sólidos (Cv) máxima de 0.35.
- El intervalo de cálculo fue de hasta 1 segundo; considerando que a menor tiempo mayor estabilidad y mayor tiempo de cálculo (HEC – RAS Hydraulic Reference Manual, 2021).
- Los parámetros reológicos del fluido se fijaron en función de la ecuación cuadrática de O’Brien, (O’Brien, J. and Julien, P., 1988).

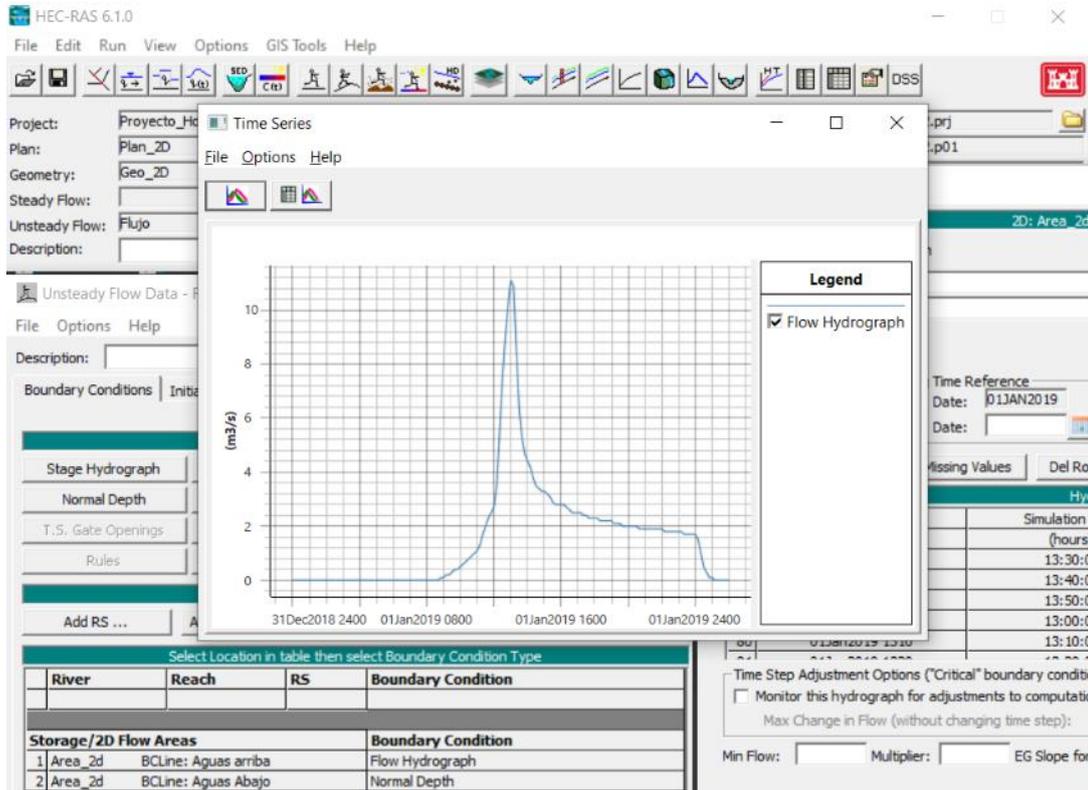


Figura 11. Hidrograma líquido para un Tr:50 años, usado en la simulación.

b. Resultados

La simulación de flujos de detritos se realizó de acuerdo a un escenario general, propuesto de acuerdo a la realidad geodinámica que presenta la quebrada, la concentración volumétrica de sedimentos y teniendo en cuenta un caudal máximo de 11.1 m³/s correspondiente a un periodo de retorno de 50 años.

A continuación, se presenta los resultados alcanzados durante la simulación:

- El modelo reporta tirantes máximos (altura de flujo) de 2.8 m y velocidades máximas de 6.1 m/s en el cauce de la quebrada.
- En la zona urbana el modelo reporta tirantes máximos entre 0.7 m a 0.4 m y mínimos de 0.1 m con velocidades que fluctúan entre 2.6 m/s a 1.2 m/s, para finalmente mantenerse casi constantes de 0.6 a 0.4 m/s.
- El área de inundación reportado por el modelo es de ~0.078 Km² de la zona urbana donde se ubica el terreno propuesto para la construcción del hospital de Ñaña, comprometiendo el 68.7% de su totalidad (figura 12); así mismo, vías de acceso como las calles Girasoles, Begonias, Azucenas, Geranios, Jazmines; avenidas Las Tunas, El Carmen, Principal, entre otros.

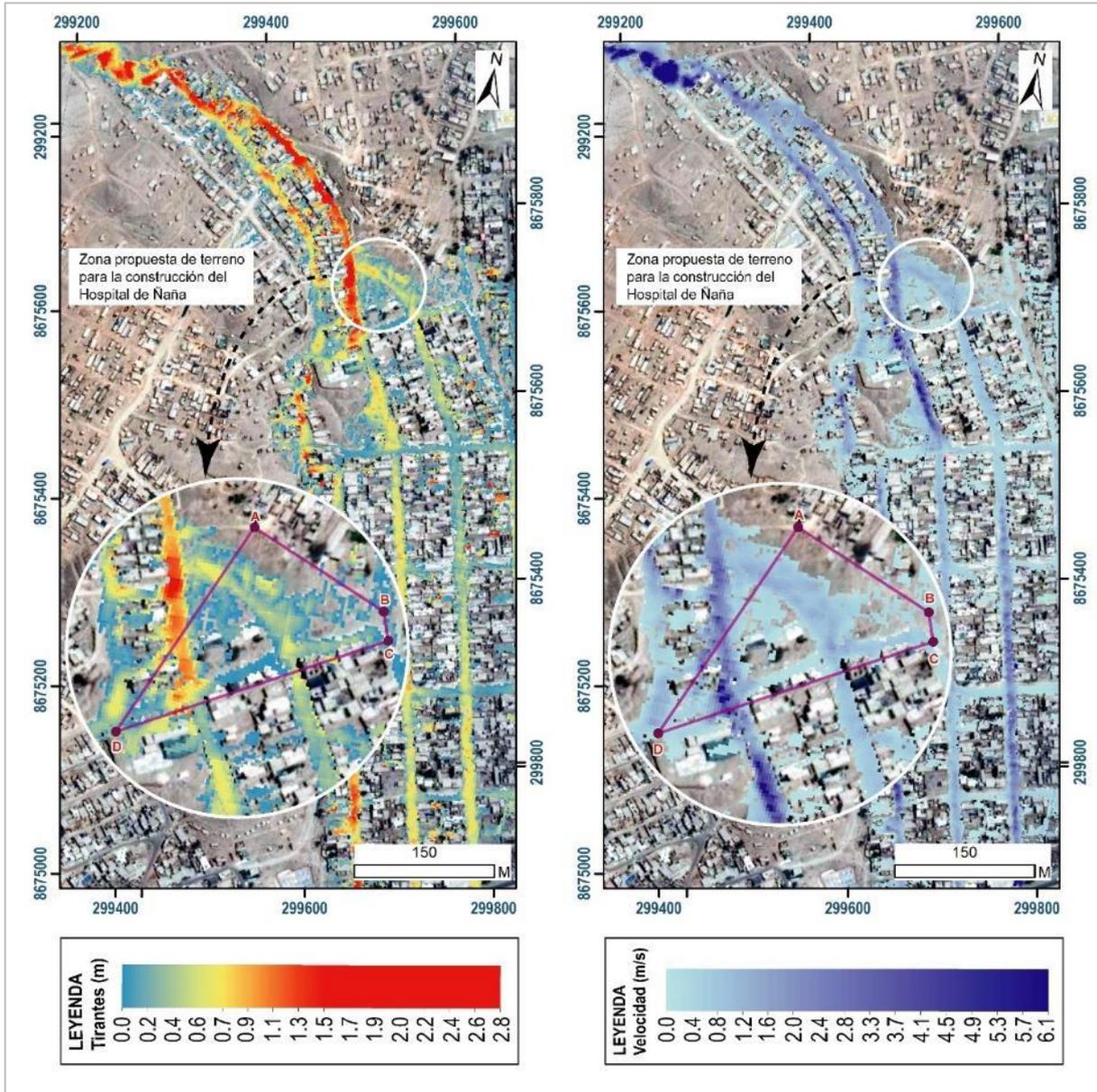


Figura 12. Mapa de tirantes máximos (izquierda) y velocidades máximas (derecha), obtenidos de la simulación de flujos de detritos utilizando el software HEC-RAS V6.1. Se distingue la afectación del terreno propuesto para la construcción del hospital de Ñaña en un 68.7% de su totalidad.

5.4. Factores condicionantes

Las causas principales para la ocurrencia de movimientos en masa (flujo de detritos) en la zona de estudio, están relacionados a los siguientes factores:

Factor litológico

- Substrato rocoso compuesto por rocas volcánicas dominados por derrames de lavas andesíticas fuertemente fracturadas y altamente meteorizadas, generando depósitos coluviales adosados a las laderas que circunscriben la quebrada, compuestos por bloques angulosos y heterométricos, susceptible a procesos de erosión y transporte ante precipitaciones pluviales intensas.
- Depósitos proluviales conformado por material detrítico no consolidado fácilmente erosionable con diámetros de hasta 1 m, que se disponen a lo largo de toda la quebrada.

Factor geomorfológico

- Presencia de montañas modeladas en rocas volcánicas, cuyas laderas presentan pendientes fuertes (15° - 25°) a muy fuertes (25° - 45°) lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.
- La quebrada presenta una pendiente media de 47.98% y una pendiente del cauce principal de 3.07%. Esta configuración de pendientes, favorecen el incremento de velocidad en la parte alta de la quebrada y depositación de material en la parte baja (figura 24).

5.5. Factores detonantes o desencadenantes

- El principal factor desencadenante para la ocurrencia de flujo de detritos en la quebrada Ñaña, son las precipitaciones de carácter extraordinario, relacionadas principalmente al fenómeno de "El Niño"; el registro histórico del servicio aWhere, (2008 – 2021) muestra que la precipitación máxima diaria puede llegar a umbrales de 35.6 mm.

6. CONCLUSIONES

- 1) El terreno propuesto para la construcción del hospital de Ñaña se encuentra en la desembocadura de una quebrada geodinámicamente activa, representada por caídas de rocas y material suelto proveniente de sus laderas. La disposición de este material detrítico es susceptible a ser erosionado y generar flujos de detritos, por ello se considera que sus cauces están sujetos a huaicos excepcionales.
- 2) Además, el área se encuentra asentado sobre antiguos depósitos de flujos de detritos, poco consolidados, conformado por bloques de formas subangulosas a subredondeadas por su escaso transporte de material y diámetros de hasta 1.0 m.
- 3) En base a una simulación numérica para un tiempo de retorno de 50 años, se determinó la probabilidad de activación de la quebrada con un caudal máximo de 11.1 m³/s, el cual generaría un flujo de detritos con tirantes máximos de 2.8 m y velocidades máximas de 6.1 m/s en el cauce de la quebrada; así como tirantes máximos entre 0.7 m a 0.4 m con velocidades que fluctúan entre 2.6 a 1.2 m/s en zonas urbanas.
- 4) De generarse un flujo de detritos, afectaría 0.078 Km² de la zona urbana donde se ubica el área evaluada, comprometiendo el 68.7% de su totalidad; así como vías de acceso como las calles Girasoles, Begonias, Azucenas, Geranios, Jazmines; avenidas Las Tunas, El Carmen, Principal, entre otros.
- 5) La ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa en la zona evaluada está condicionada por los siguientes factores:
 - Substrato rocoso compuesto de rocas volcánicas de lavas andesíticas fuertemente fracturadas y altamente meteorizadas, lo que condiciona la ocurrencia de depósitos coluviales sueltos adosados a las laderas que circunscriben la quebrada y son susceptibles a procesos de erosión y transporte ante precipitaciones pluviales intensas.
 - Presencia de depósitos proluviales conformado por material detrítico medianamente consolidado fácilmente erosionable, que se disponen a lo largo de toda la quebrada.
 - Laderas de montañas que circunscriben la quebrada afluente, con pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°) lo que permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.
- 6) El factor desencadenante para la ocurrencia de flujos de detritos en la quebrada se atribuye a precipitaciones de carácter extraordinario, relacionadas principalmente al fenómeno de “El Niño”; el registro histórico del servicio aWhere, (2008 – 2021) muestra que la precipitación máxima diaria puede llegar a umbrales de 35.6 mm.
- 7) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y dinámicas, el área del terreno propuesto para la construcción del hospital de Ñaña y su quebrada afluente, se encuentran en una **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** a la ocurrencia de flujos de detritos, los cuales pueden ser desencadenados por lluvias excepcionales y/o prolongadas (Fenómeno El Niño).

7. RECOMENDACIONES

- 1) En base a la simulación numérica, las observaciones en campo y las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas de la quebrada afluyente, no se recomienda utilizar el terreno propuesto para la construcción del hospital de Ñaña, ya que se encuentra en una zona susceptible a la ocurrencia de flujos de detritos.
- 2) Implementar medidas estructurales para el control de flujo de detritos (huaicos), estos pueden ser la construcción de muros de roca (enrocado) usando el material presente en la quebrada y diques; estos apoyarán en la retención de material detrítico y reducción de la velocidad de flujo. Estas medidas deberán ser realizadas por un especialista en el tema, teniendo en cuenta cálculos hidrológicos y geotécnicos, que determinen, las características ingenieriles de cada una.
- 3) Para la zona de laderas, es necesario la construcción de muros de contención. Y en las laderas inestables que muestran bloques sueltos, desatarlos.
- 4) Proponer la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para flujos, con los respectivos sensores y sistemas de comunicación – alarma, que avise con antelación a la población que vive en el cauce de la quebrada y zonas aledañas, con el objetivo de tener avisos oportunos ante la ocurrencia de huaicos, para que la población pueda tomar las precauciones del caso y salvaguardar sus vidas.
- 5) Se debe restringir la expansión urbana hacia el cauce actual de la quebrada, así como prohibir la construcción de viviendas a zonas aledañas a sus márgenes, por ser una zona de alta susceptibilidad a movimientos en masa, por flujos de detritos.
- 6) Realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR) por parte de las autoridades locales, a fin de evaluar los elementos expuestos a la creación de nuevos peligros geológicos.
- 7) Realizar charlas de sensibilización y concientización del peligro y riesgo al que se encuentran expuestos el poblado del distrito de Lurigancho.


LUCIO MEDINA ALLCCA
Ingeniero Geólogo
CIP N° 101456


Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

8. BIBLIOGRAFÍA

Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá: Colombia, 308p.

Fuente de Datos Meteorológicos y Pronostico del tiempo del Servicio de Awhere. (2021). Disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7508240>.

Hydrologic Engineering Center, (2021), HEC – RAS Hydraulic Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017) – Directorio Nacional de Centros Poblados. Censos Nacionales 2017: XII de Población; VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. (Consulta: Junio 2021). Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm.

Luque, G.; Rosado, M.; Pari, W.; Peña, F. & Huamán, M. (2020) - Peligro geológico en la región Lima. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica, 76, 298 p., 9 mapas.

Mocayo, O., Caldas, J., & Vela, C. (199) – Geología de los cuadrangulos de Lima, Lurin, Chancay y Chosica (hojas 25-i, 25-j, 24-i, 24-j). INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional (Escala 1:100 000), 43, 173p.

Mamani, Y., Fabián, C. & Jacay, J. (2021) - Geología del cuadrángulo de Chosica (hojas 24j1, 24j 2, 24j 3, 24j 4). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000), 38, 80p, 4 mapas

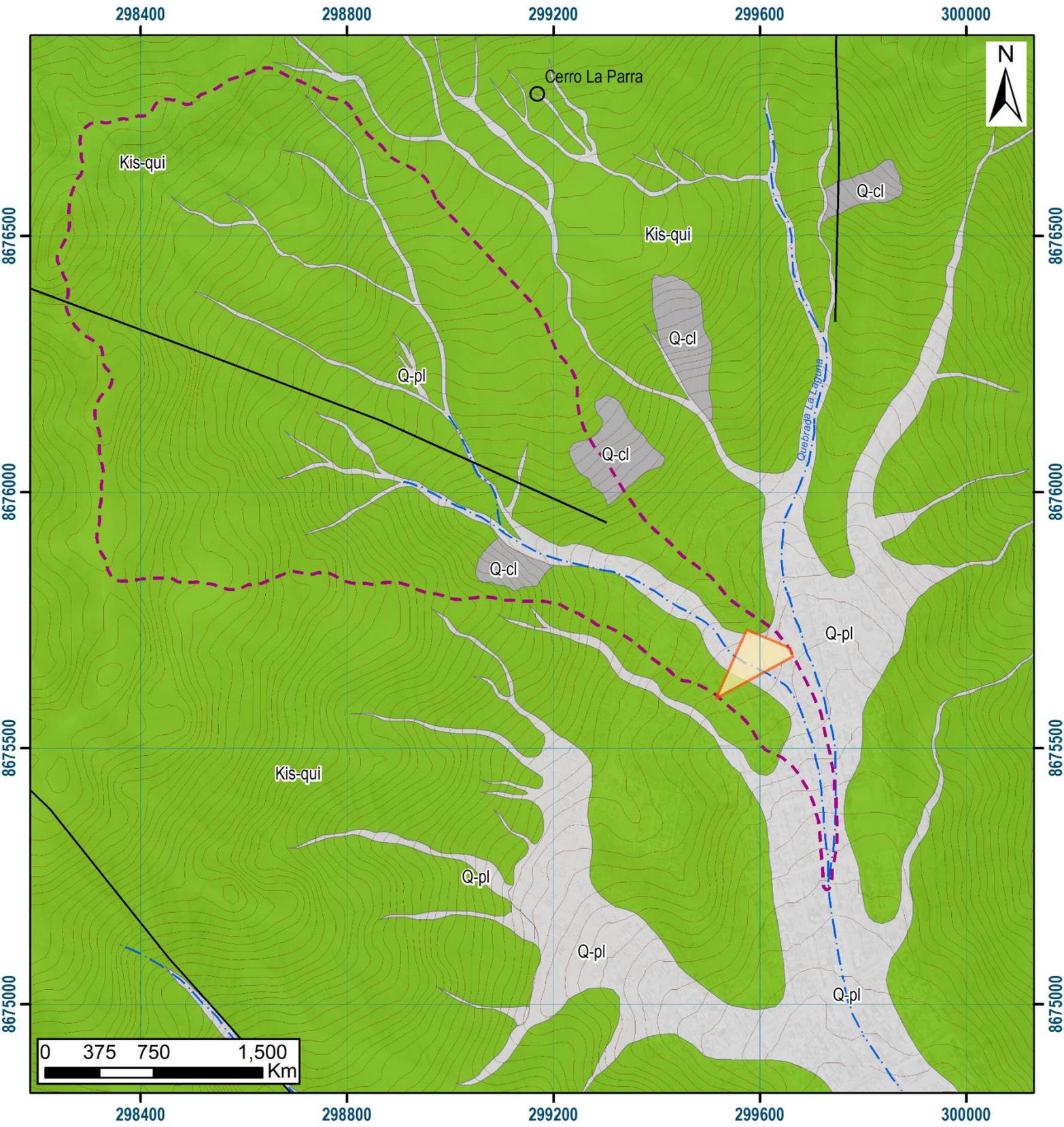
O'Brien, J. and Julien, P., (1988) "Laboratory Analysis of Mudflow Properties", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 114(8), 877-887

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Servicio Nacional de Meteorologica e Hidrológica, SENAMHI (2020) – Mapa de clasificación climática del Perú (Texto). Lima, Perú. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2185020/Climas%20del%20Per%C3%BA%3A%20Mapa%20de%20Clasificaci%C3%B3n%20Clim%C3%A1tica.pdf>.

Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

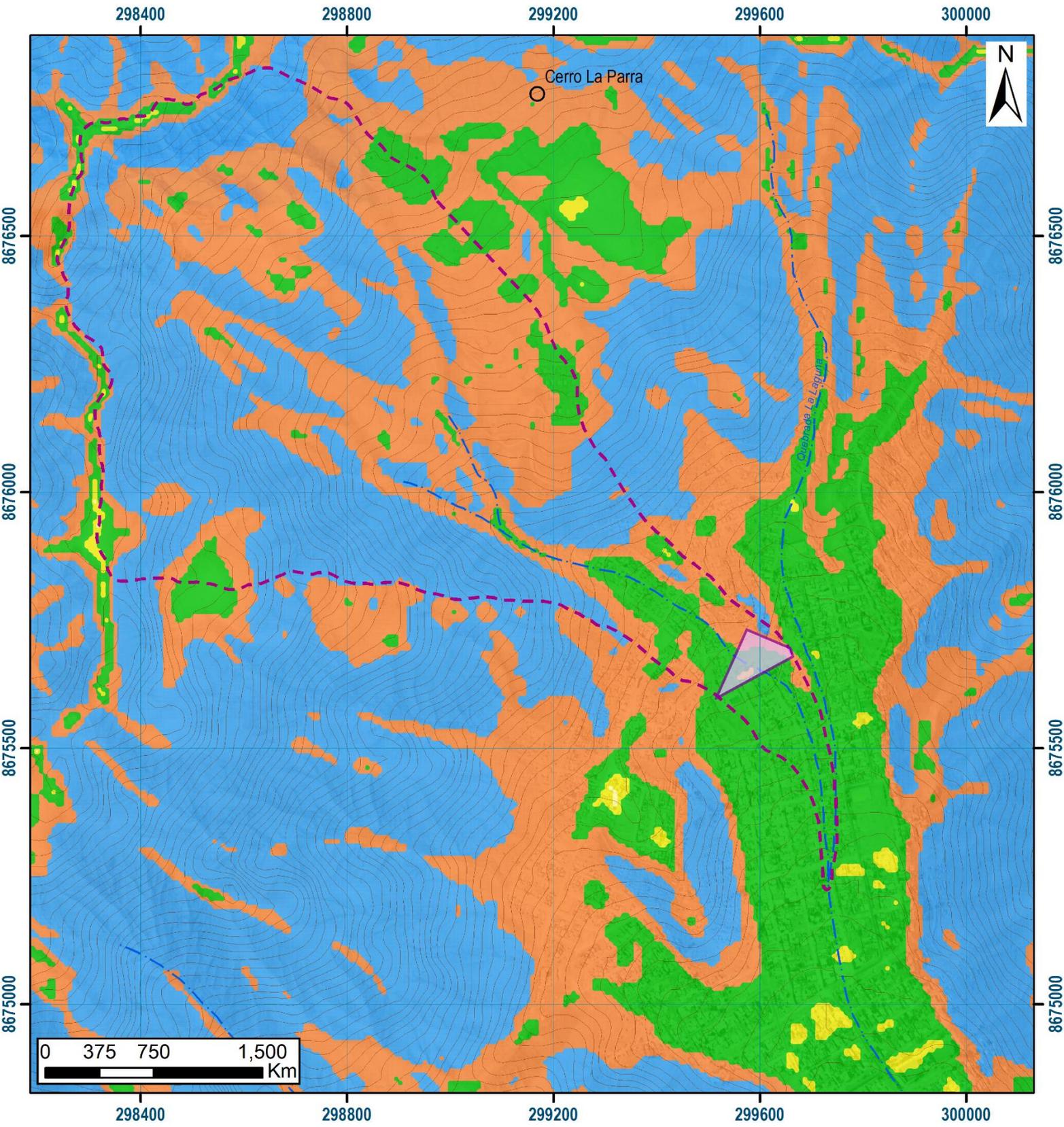
ANEXO 1: MAPAS



LEYENDA	
	Depósito coluvial
	Depósito proluvial
	Formación Quilmana

SIMBOLOGÍA	
	Zona propuesta para la construcción del hospital de Naña
	Límite de quebrada de influencia
	Cerros
	Lineamientos
	Quebrada
	Curvas de nivel

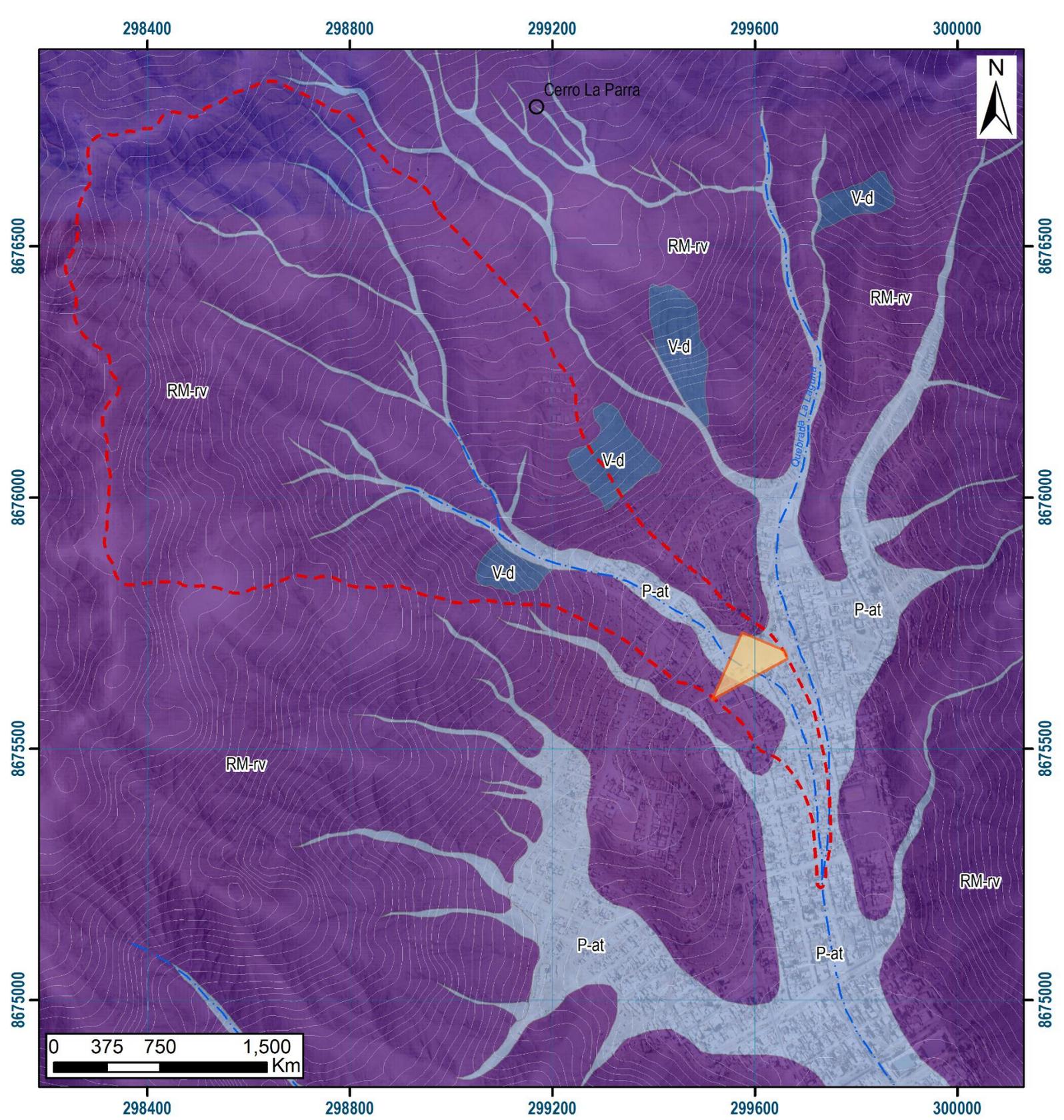
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO	
DEPARTAMENTO: LIMA PROVINCIA: LIMA DISTRITO: LURIGANCHO	
MAPA GEOLÓGICO	
Escala: 1/10,000	Elaborado por: Nuñez, M.
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84
Versión digital 2022	Impreso: Febrero, 2022
MAPA 01	



RANGO DE PENDIENTES	
0°-1°	Terreno llano
1°-5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5°-15°	Pendiente moderada
15°-25°	Pendiente fuerte
25°-45°	Pendiente muy fuerte o escarpada
>45°	Terreno muy escarpado

SIMBOLOGÍA	
	Zona propuesta para la construcción del hospital de Ñaña
	Limite de quebrada de influencia
	Cerros
	Quebrada
	Curvas de nivel

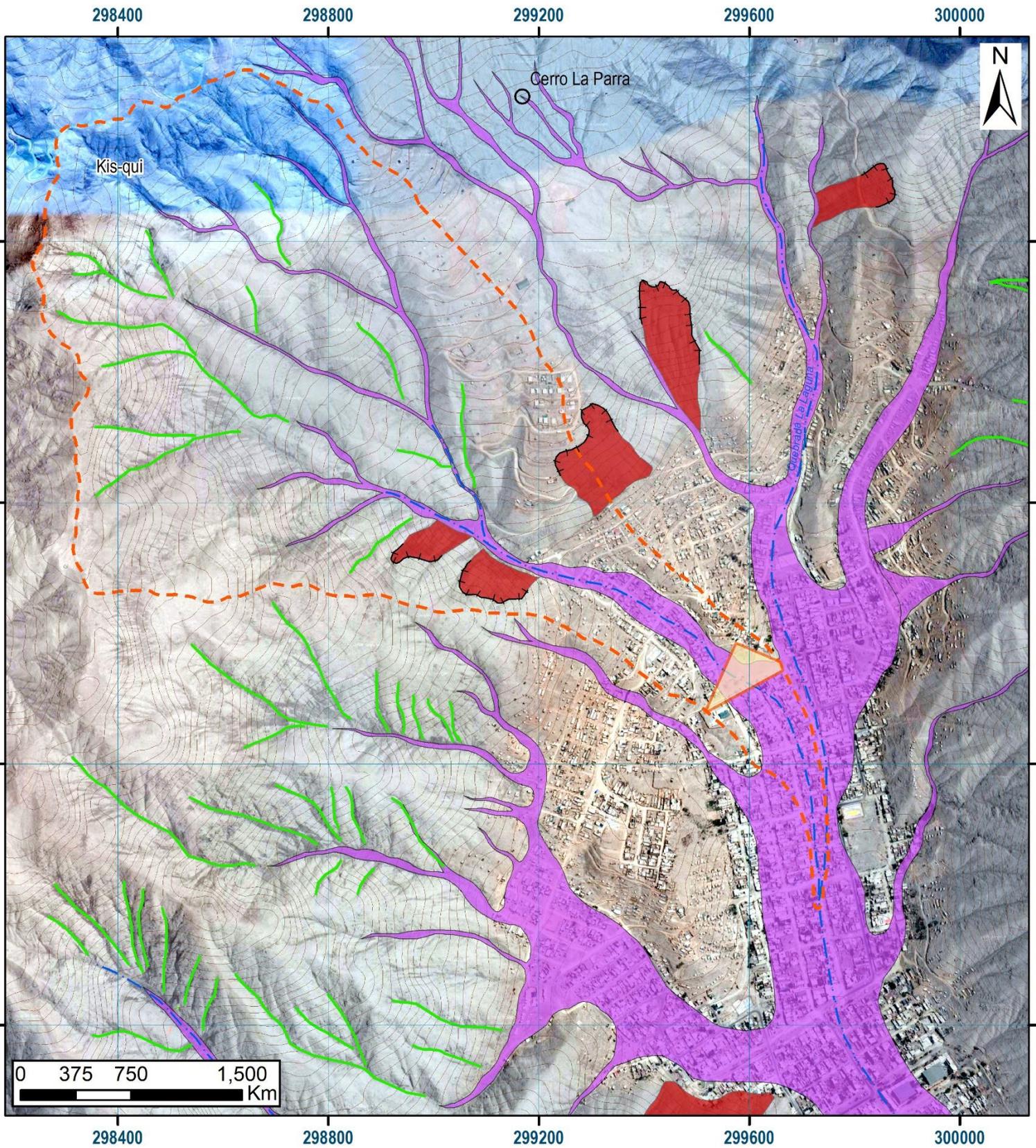
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO	
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO	
DEPARTAMENTO: LIMA PROVINCIA: LIMA DISTRITO: LURIGANCHO	
MAPA DE PENDIENTES	
Escala: 1/10,000	Elaborado por: Nuñez, M.
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84
Versión digital 2022	Impreso: Febrero, 2022
MAPA 02	



LEYENDA	
RM-rv	Montaña en roca volcánica
P-at	Vertiente aluvio-torrencial
V-d	Vertiente coluvial de detritos

SIMBOLOGÍA	
	Zona propuesta para la construcción del hospital de Ñaña
	Limite de quebrada de influencia
	Cerros
~	Quebrada
~	Curvas de nivel

<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>		
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO		
DEPARTAMENTO: LIMA PROVINCIA: LIMA DISTRITO: LURIGANCHO		
<h2 style="margin: 0;">MAPA GEOMORFOLÓGICO</h2>		
Escala: 1/10,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	03
Versión digital 2022	Impreso: Febrero, 2022	



LEYENDA	
	Caída de rocas
	Flujos de detritos

SIMBOLOGÍA	
	Erosión en cárcava
	Escarpe de derrumbe

SIMBOLOGÍA	
	Zona propuesta para la construcción del hospital de Ñaña
	Límite de quebrada de influencia
	Cerros
	Quebrada
	Curvas de nivel

 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO		
DEPARTAMENTO: LIMA PROVINCIA: LIMA DISTRITO: LURIGANCHO		
MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS		
Escala: 1/10,000	Elaborado por: Nuñez, M.	MAPA 04
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2022	Impreso: Febrero, 2022	